

# Einfluss der Bordnetzverbraucher auf die Reichweite von batterieelektrischen Triebzügen (BEMU)

Ivan Windemut, Holger Dittus und Dr. Joachim Winter  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Fahrzeugkonzepte

Symposium „Elektrische Fahrzeugantriebe und -ausrüstungen“

29.- 30.11.2018 Dresden



Wissen für Morgen



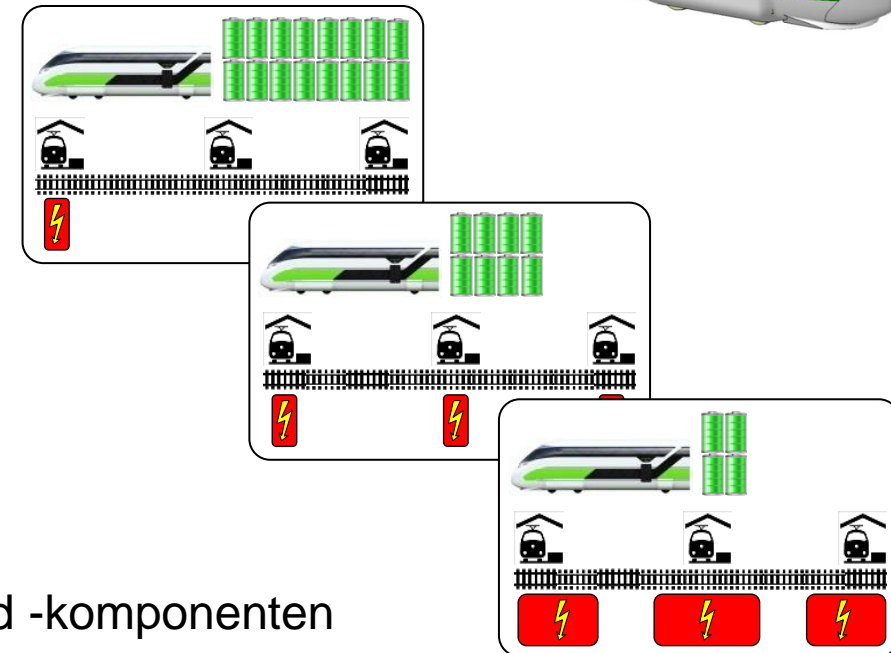
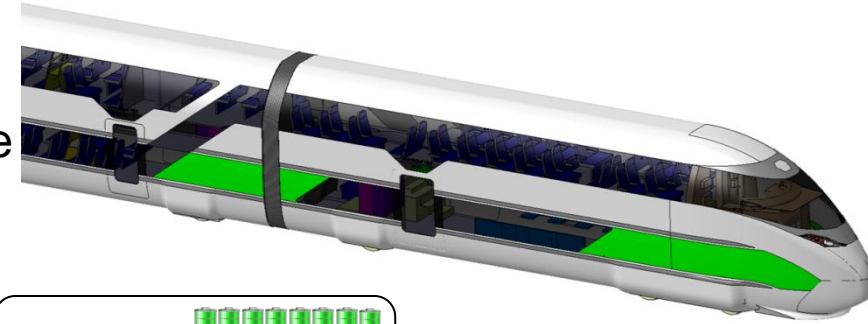
# Inhalt

- Einleitung
- Modellierung
  - Referenzfahrzeug
  - Referenzstrecke
  - Bordnetzmodell
  - Einsatzszenarien
  - Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfes im Bordnetz
- Ergebnisse
  - Extremszenario „-10°C“
  - Standardszenario „+15°C“
  - Extremszenario „+35°C“
  - Vergleich und Schlussfolgerungen
- Zusammenfassung



# Einleitung

- Elektrifizierungsgrad in DE: ca. 57%, in der EU: ca. 54%
- Nicht elektrifizierte Strecken/ -abschnitte vor allem im Regionalverkehr
- Im DLR-Projekt Next Generation Train werden Personentriebwagenzüge mit alternativen Antrieben konzipiert  
→ NGT-LINK
- Von großem Interesse sind FCEMU (Fuel Cell Electric Multiple Unit) und BEMU (Battery Electric Multiple Unit)
  - Problem FCEMU: fehlende H<sub>2</sub>-Infrastruktur
  - Probleme BEMU:
    - Große Batteriemasse
    - Begrenzte Reichweite
  - Mögliche Lösungen:
    - Zwischenladen: Bahnhöfe/ Endbahnhöfe/ Teilelektrifizierung
    - Minimieren des Energiebedarfes der Fahrzeugteilsysteme und -komponenten



# Modellierung: Referenzfahrzeug

- generisches Fahrzeugkonzept „Regional“ aus dem Shift2Rail Projekt FINE1 [1]:
- vierteiliger Triebwagenzug mit Jakobsdrehgestellen
- Länge des Zuges: 75 m
- Anzahl der Sitze: 230
- zulässige Zuggesamtmasse: 180 t
- Zugmasse mit durchschnittlicher Zuladung: 155,5 t (bei 180 Fahrgästen á 75 kg)
- Antriebsleistung am Rad insgesamt: 1136 kW
- Sollbeschleunigung: 0,75 m/s<sup>2</sup>
- spezifische Antriebsleistung 8 kW/t am Rad basierend auf Daten existierender DMU (4,7 - 12,2 kW/t bezogen auf die Leermasse) [2 bis 7]. Ebenfalls in dieser Leistungsklasse:
  - Alstom iLint FCEMU mit 6 - 7 kW/t
  - Bombardier Talent 3 BEMU mit 7 - 8 kW/t

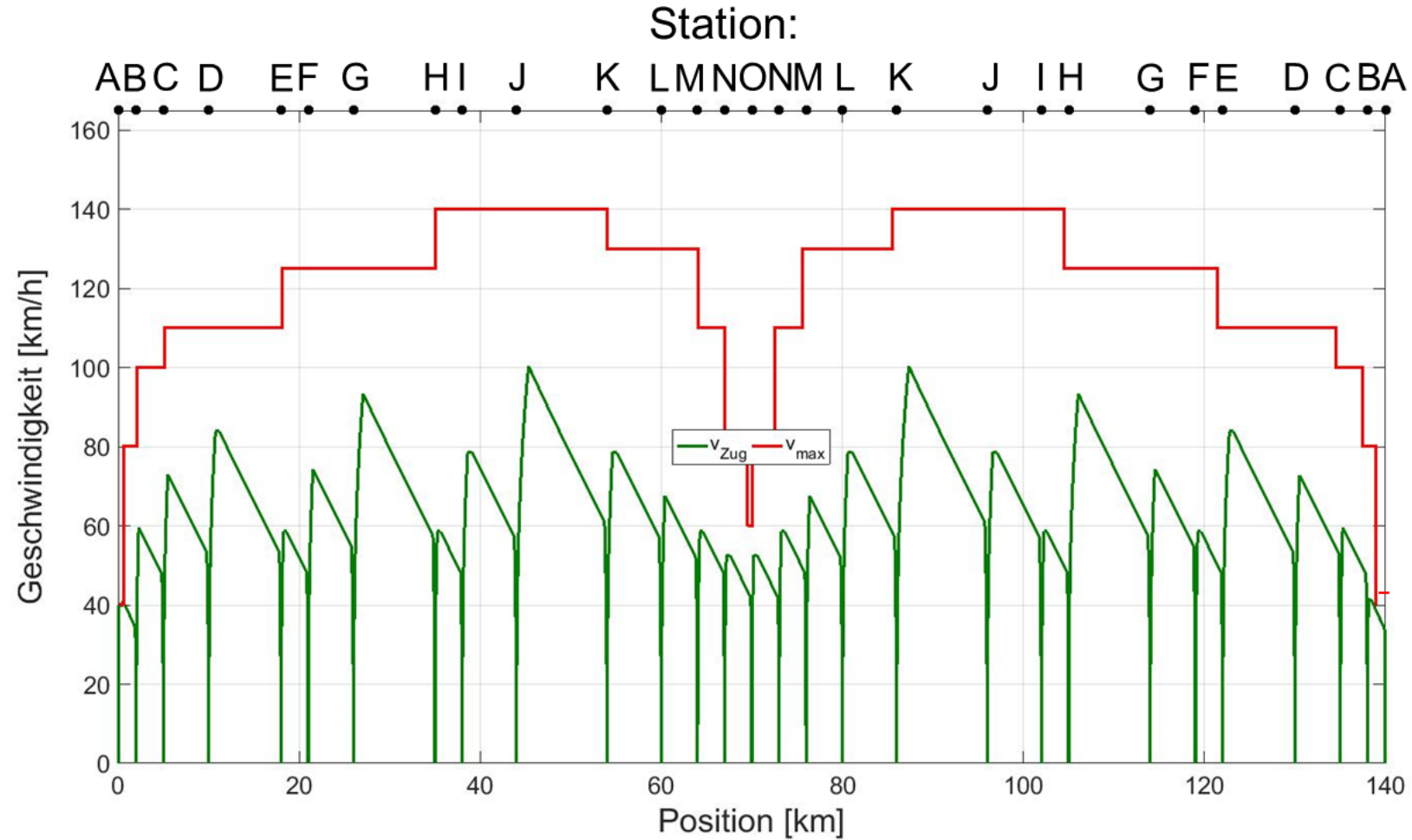




# Modellierung: Referenzstrecke

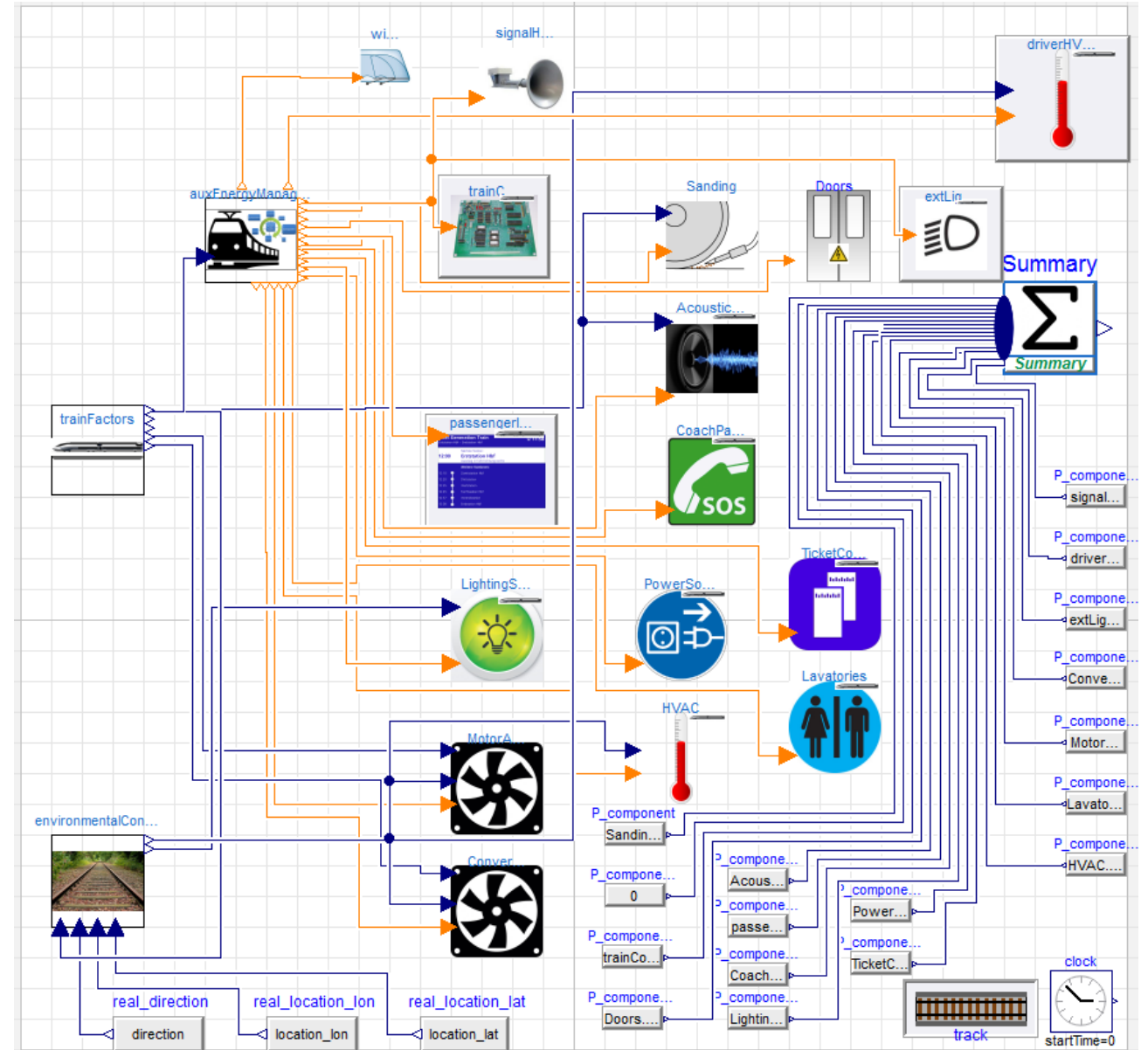
Streckenprofil „Regional 140“  
aus der zukünftigen EN 50591 [8]:

- ebene Strecke
- Höchstgeschwindigkeit 140 km/h
- Länge 70 km
- 15 Stationen
- wird als Umlauf betrachtet (140 km)
- 4 Minuten Haltezeit an der betrieblichen Wendestation (Haltestelle O, nach 70 km)
- Umlaufzeit 3 Stunden (angesetzt nach [8])
- Energieoptimierte Fahrweise



# Bordnetzmodell

- Bordnetzverbraucher
- Strecke (geografische Lage, Tunnel, Maximalgeschwindigkeit)
- Fahrdynamik (aktuelle Antriebsleistung, aktuelle Geschwindigkeit)
- Fahrzeugumgebung (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung)
- Steuermodul (Energiemanagement, Steuerung der Bordnetzverbraucher)
- Summary:
  - Bordnetzleistung
  - Energiebedarf



# Einsatzszenarien

- Gesamtantriebsleistung Referenzfahrzeug: 1136 kW → 142 kW/Motor

- Antriebsmotor:

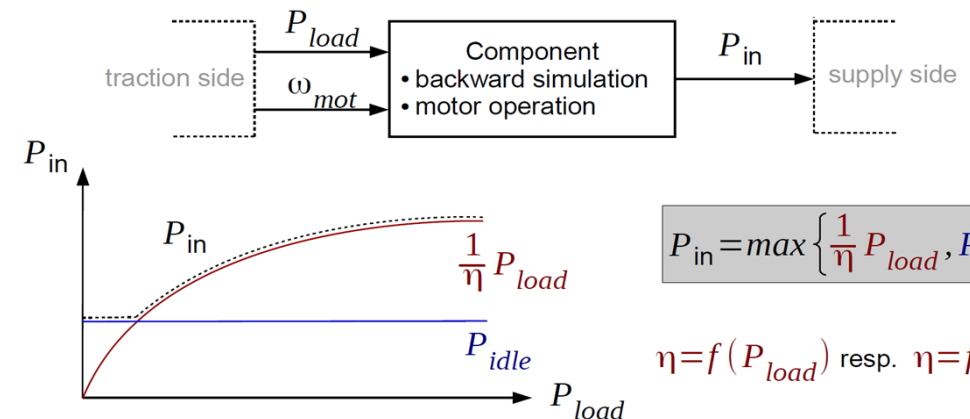
- Wirkungsgrad: 95%
- Leerlaufverluste: 4 kW
- Kühlleistung: 1% der momentanen Leistung
- Anzahl: 8

- Traktionsumrichter:

- Wirkungsgrad: 97,5%
- Leerlaufverluste: 1 kW
- Kühlleistung: 0,5% der momentanen Leistung
- Anzahl: 4

- Bordnetzumrichter:

- Wirkungsgrad: 97,5%
- Leerlaufverluste: 1 kW
- Kühlleistung: 0,5% der momentanen Leistung
- Anzahl: 1



Quelle: [9]

# Einsatzszenarien

	Extremszenario „Heizen“	Standardszenario	Extremszenario „Kühlen“
EN 50591	OP 1	OP 4	OP 7
EN 13129 (EN 14750-2)	14 (TL 211)	31	59 (TL 221)
Außenlufttemperatur in °C	-10	+15	+35
Relative Luftfeuchte in %	-	90	50
Datum	21.12.	15.04.	21.06.

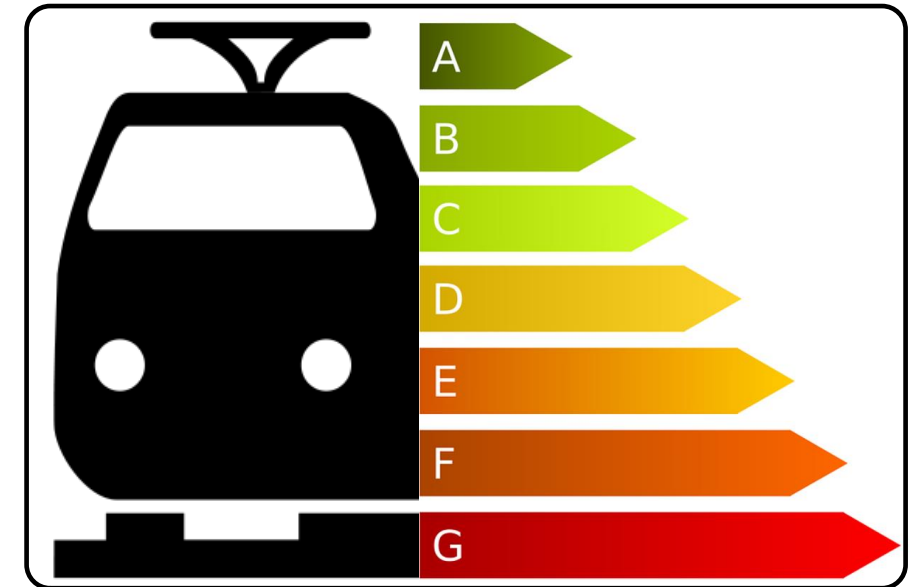
- Realer Tagesgang der Sonne für das ausgewählte Datum
- Standardluftdruck von 1013 hPa
- Besetzungsgrad: 80%
- die Masse des Fahrzeugs wird als konstant betrachtet
- eine Nachladung der Batterie kann lediglich am Startbahnhof erfolgen





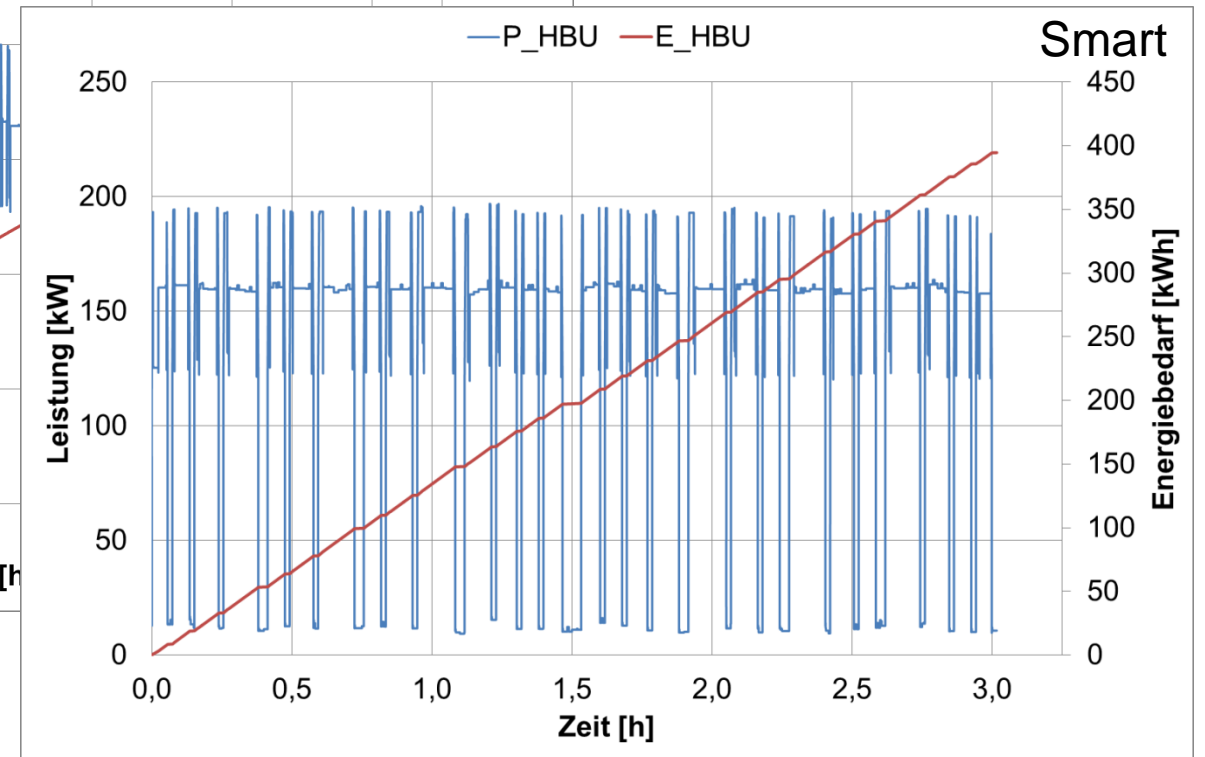
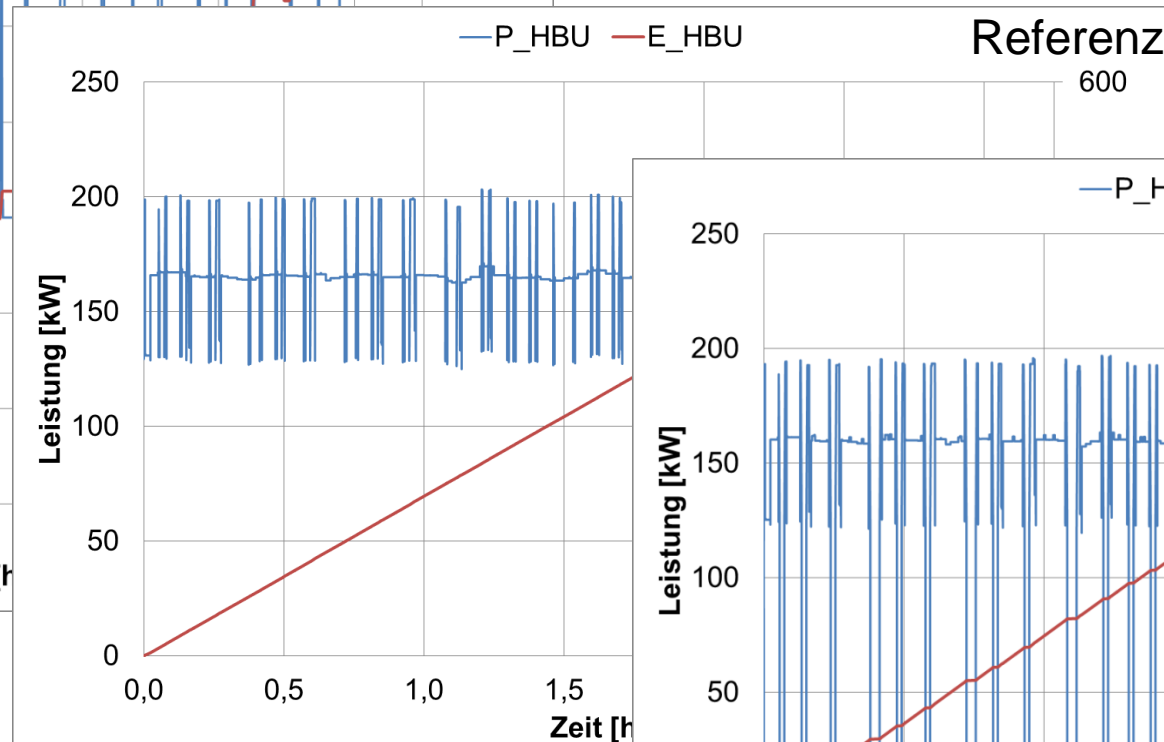
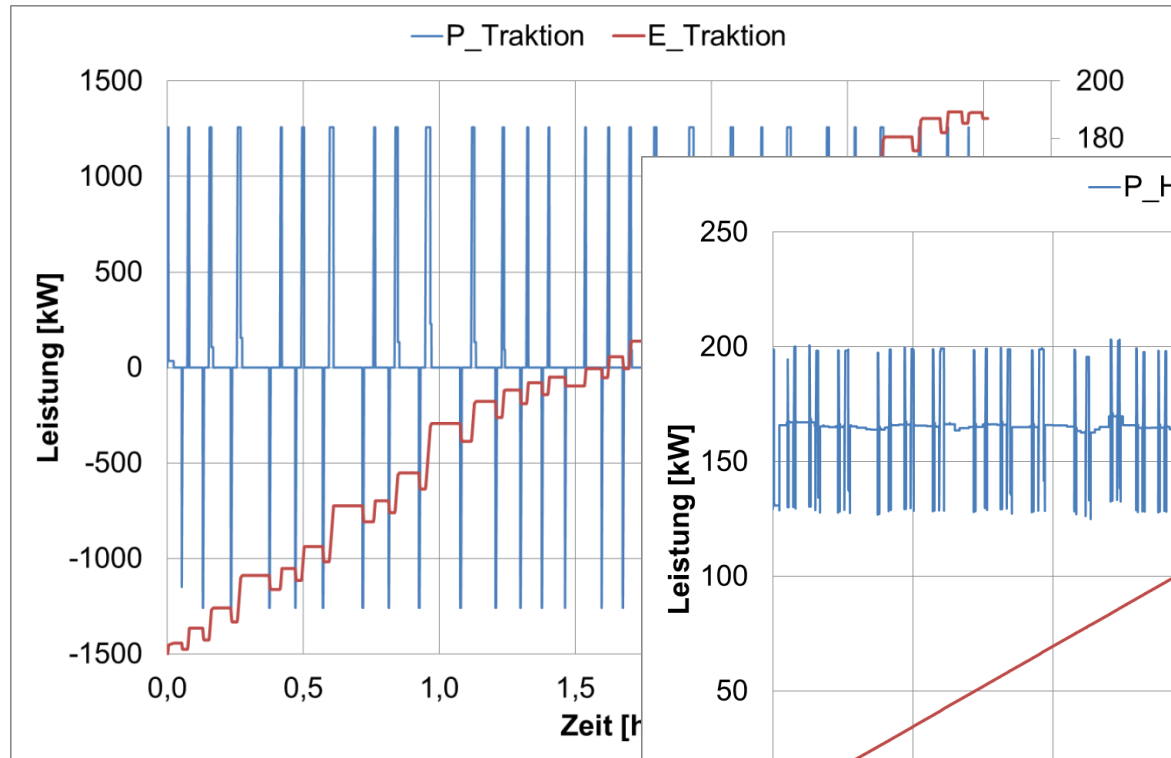
# Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfes im Bordnetz

- Herunterregeln der Klimaanlage der Fahrgasträume während der Halte im Bahnhof
- Herunterregeln der Kühlung von Traktionskomponenten während der Halte im Bahnhof
- Bedarfsgerechte Beleuchtungsregelung im Fahrgastraum (tageslichtgesteuert über Sensoren)
- Abschalten der Außenbeleuchtung während der Halte im Bahnhof
- Bedarfsgerechte Hintergrundbeleuchtung der Informationsanzeigen



# Ergebnisse: Extremszenario „-10°C“

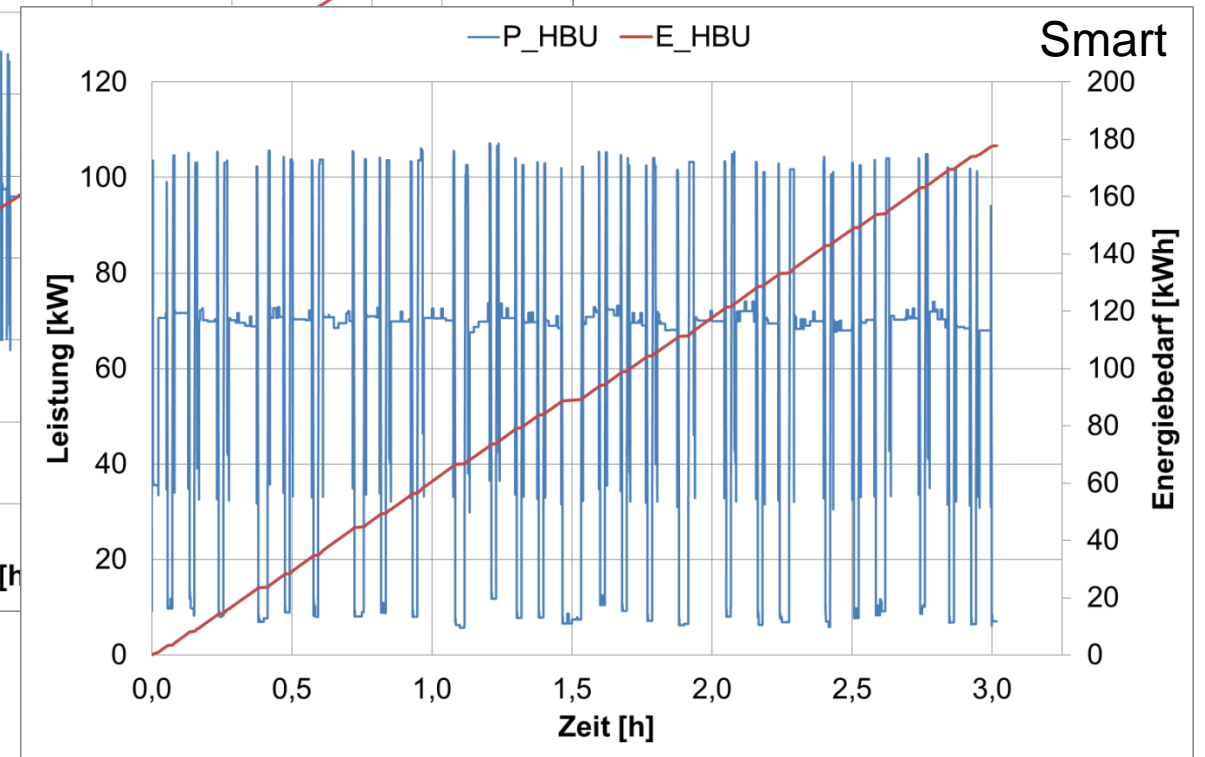
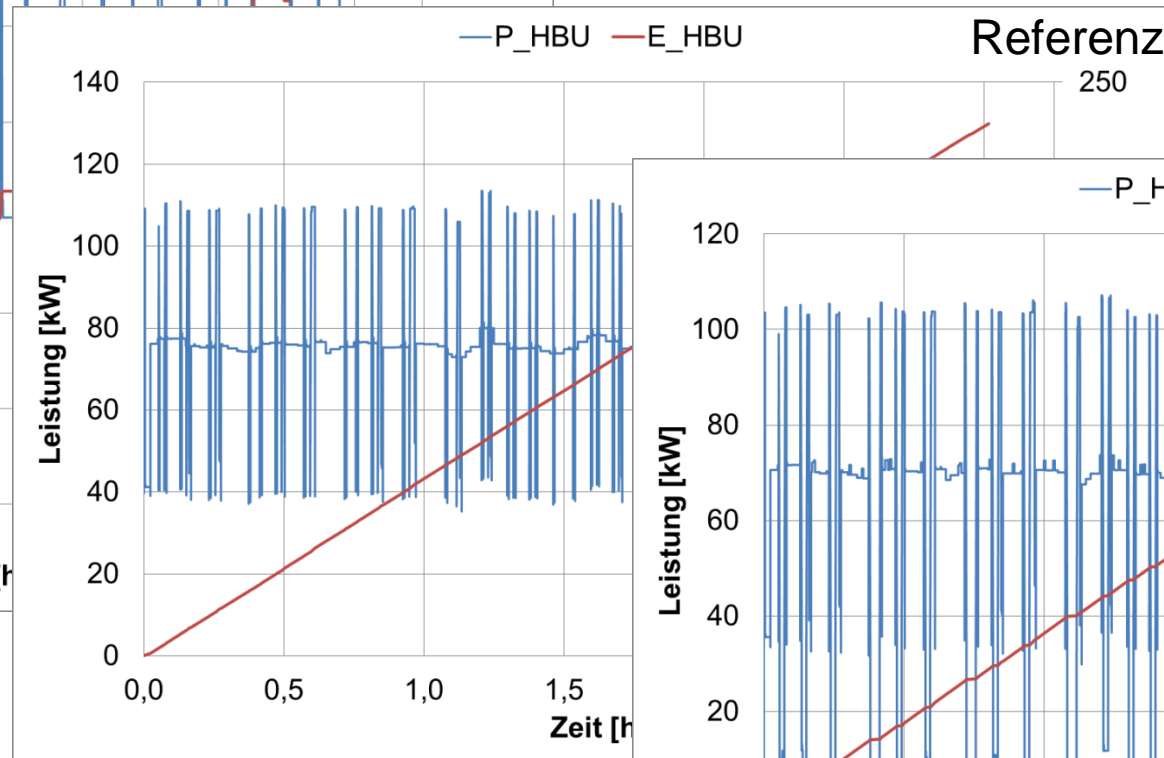
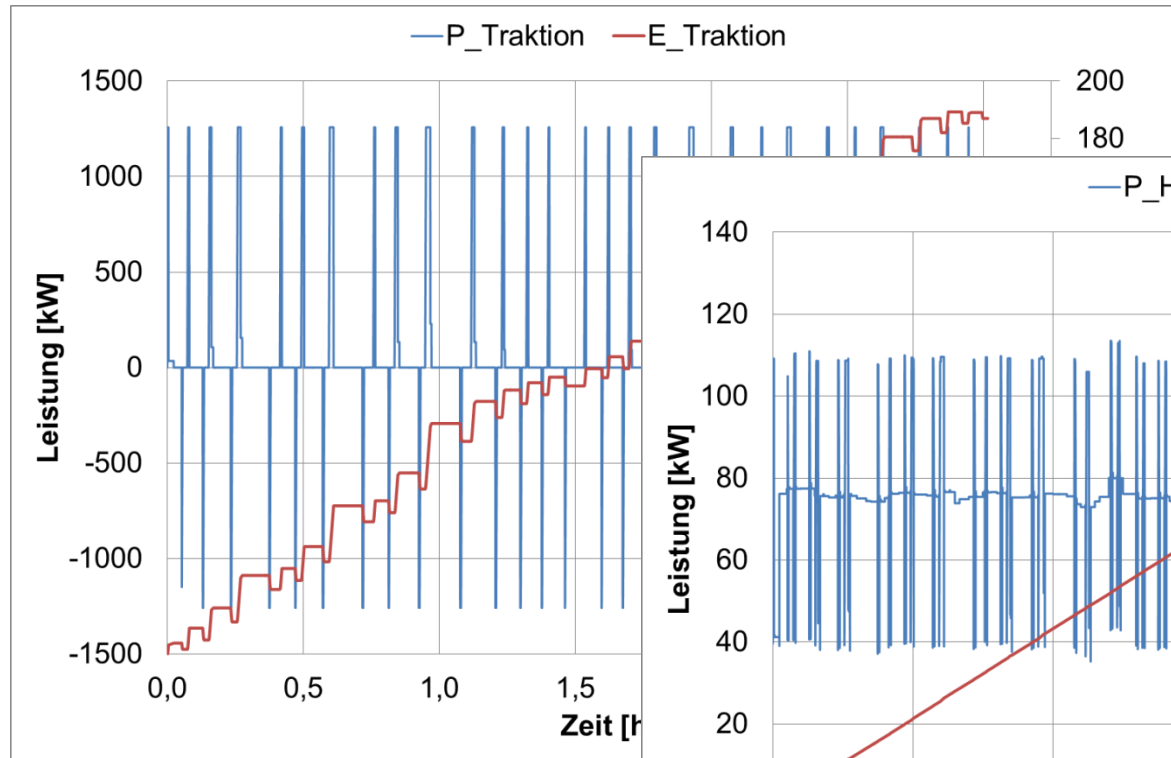
- $E_{\text{Traktion}} = 186,97 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_r} = 502,68 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_s} = 394,62 \text{ kWh}$



HBU = Hilfsbetriebeumrichter  
 r = Referenz  
 s = Smart

# Ergebnisse: Standardszenario „+15°C“

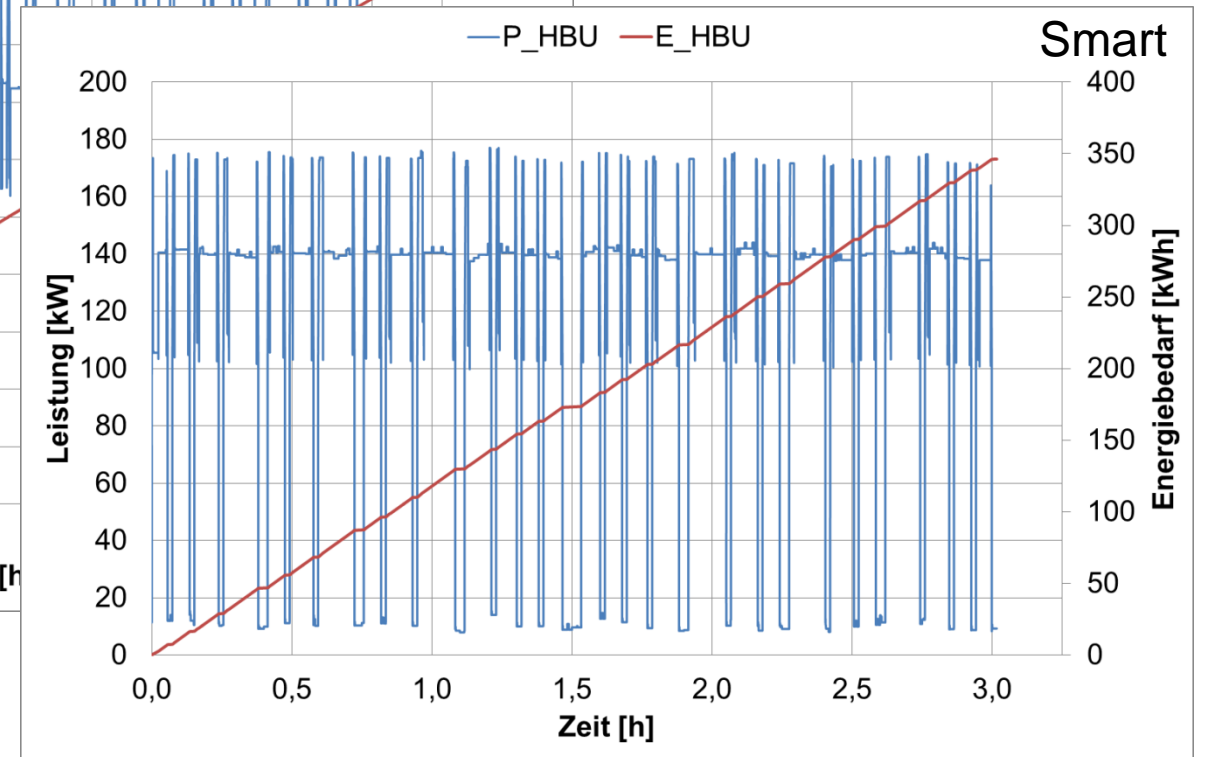
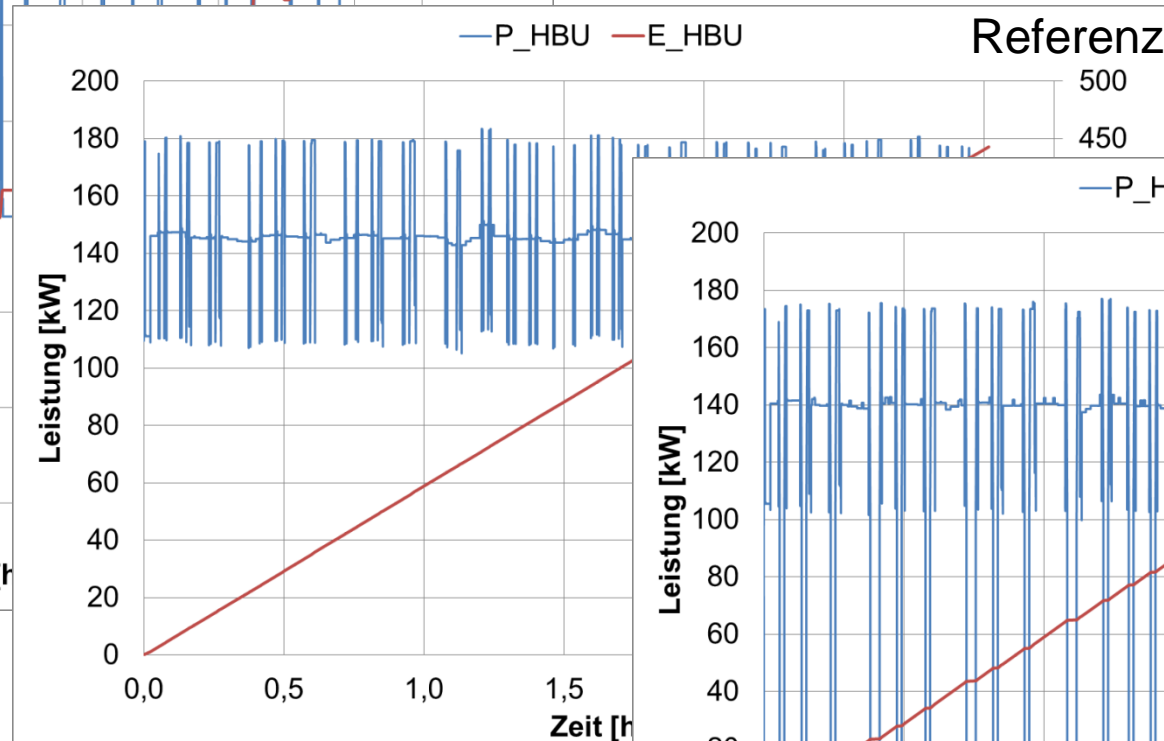
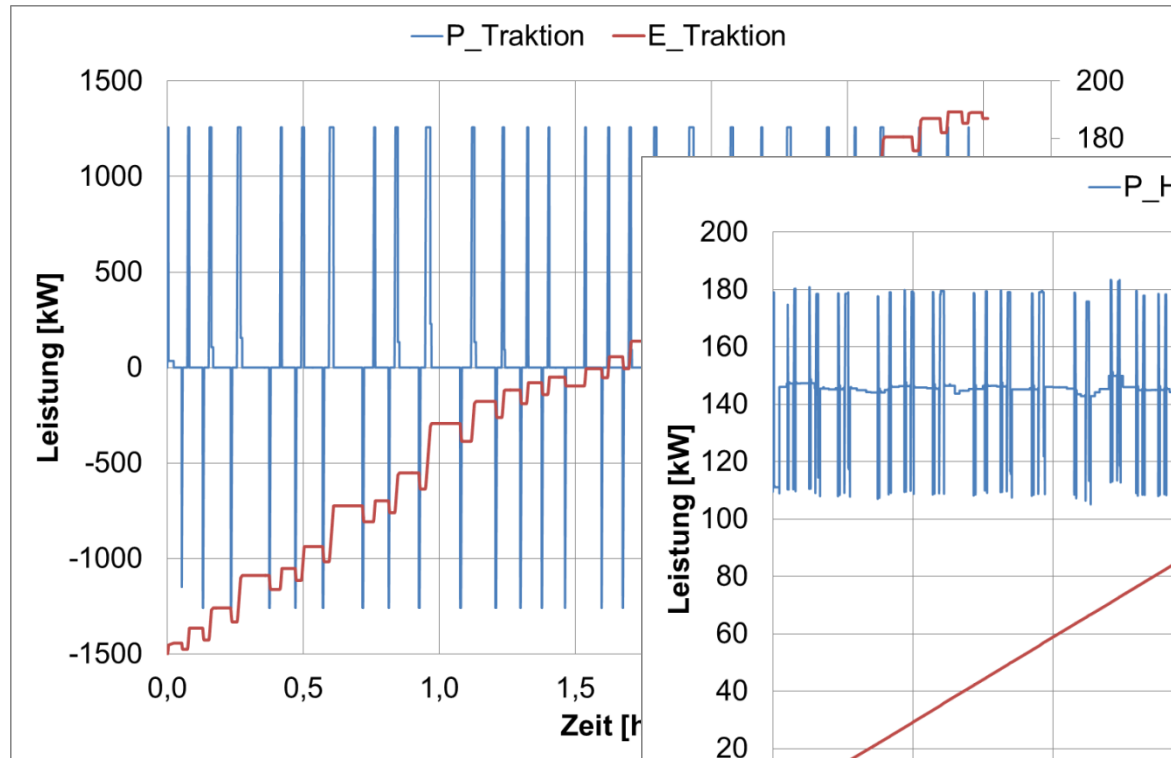
- $E_{\text{Traktion}} = 186,97 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_r} = 231,95 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_s} = 177,79 \text{ kWh}$



HBU = Hilfsbetriebeumrichter  
 r = Referenz  
 s = Smart

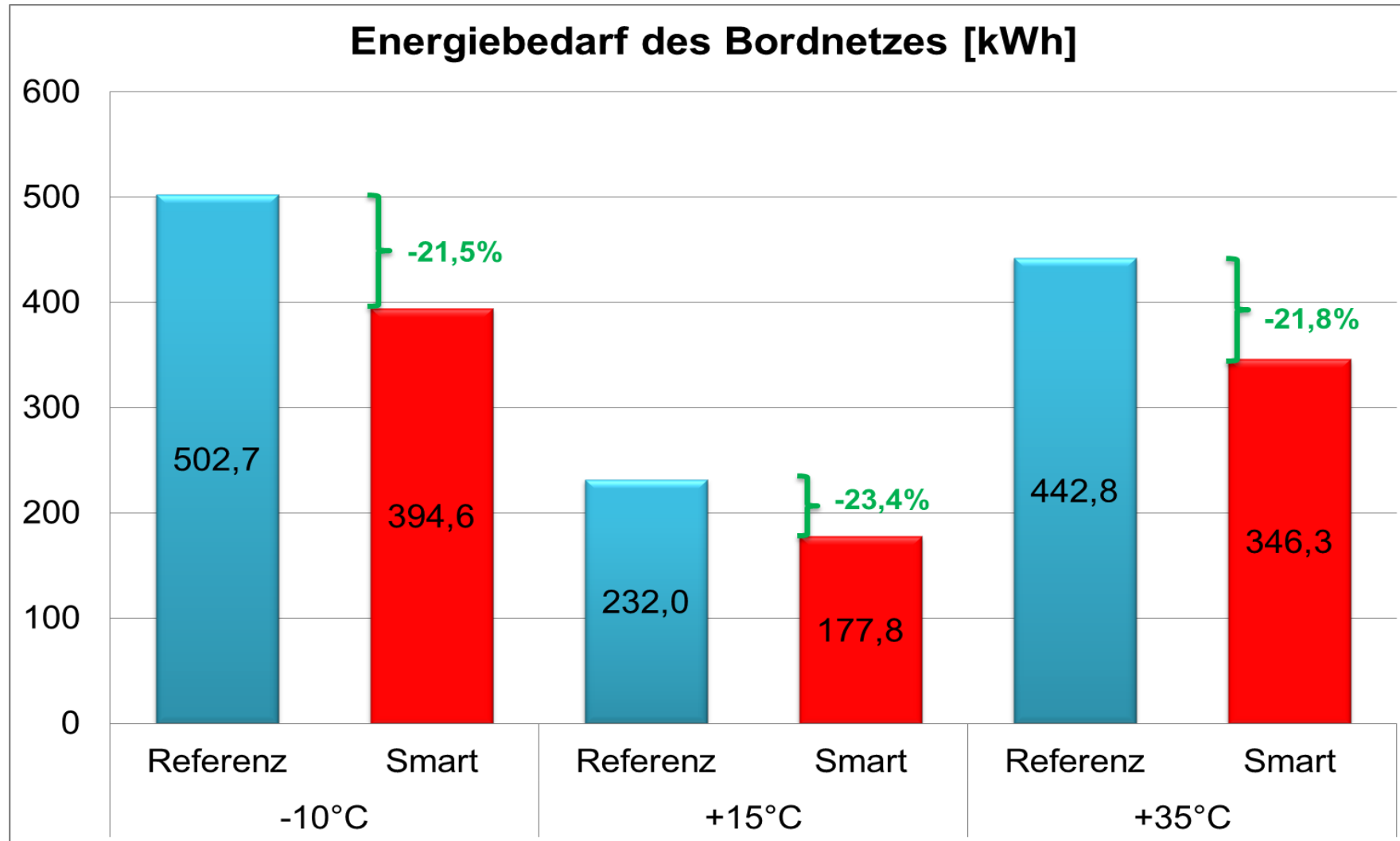
# Ergebnisse: Extremszenario „+35°C“

- $E_{\text{Traktion}} = 186,97 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_r} = 442,81 \text{ kWh}$
- $E_{\text{HBU}_s} = 346,30 \text{ kWh}$



HBU = Hilfsbetriebeumrichter  
 r = Referenz  
 s = Smart

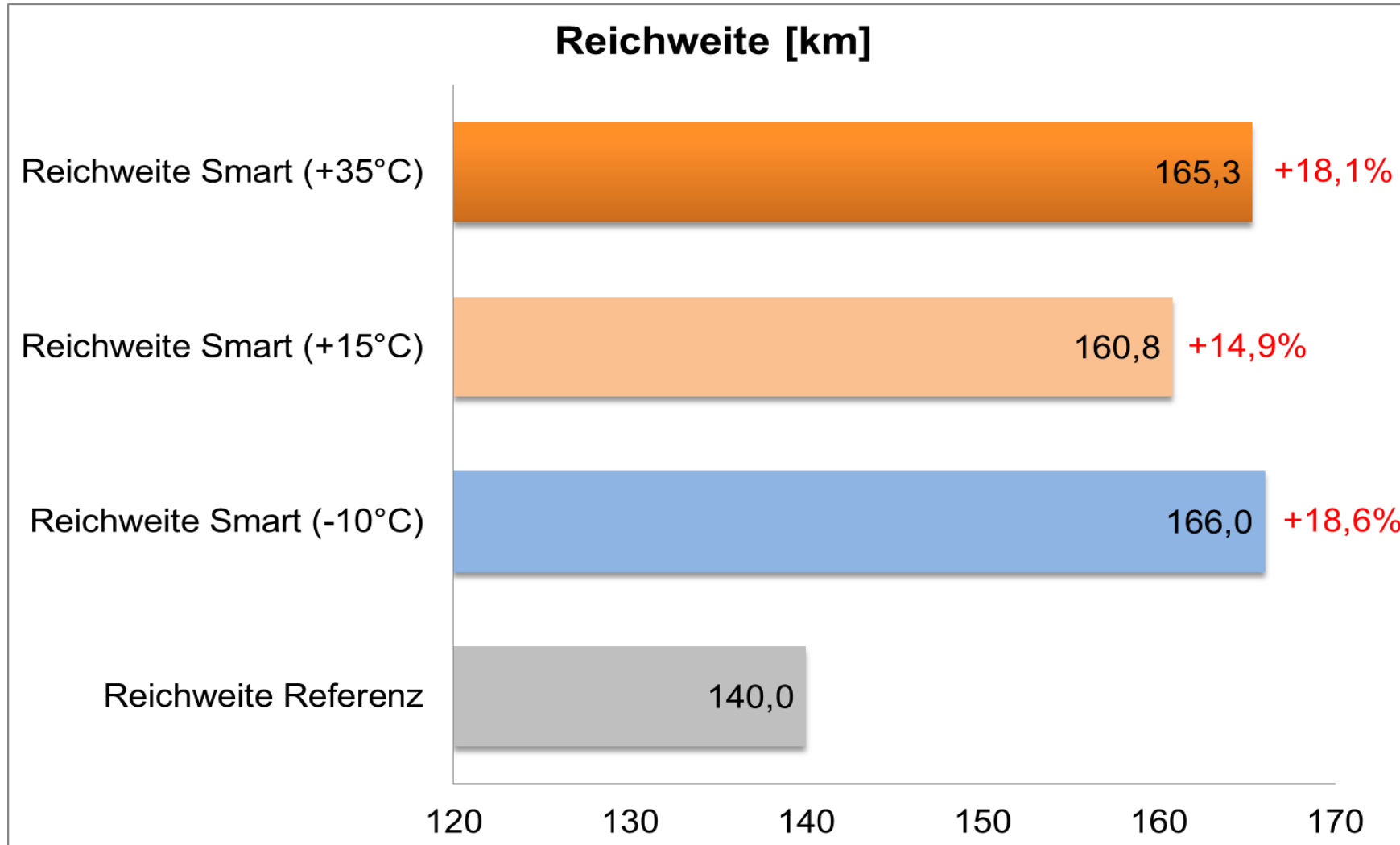
## Ergebnisse: Energieeinsparung im Bordnetz



Allein durch  
optimierte  
Ansteuerung  
sind im  
Bordnetz  
Energie-  
einsparungen  
> 20% möglich



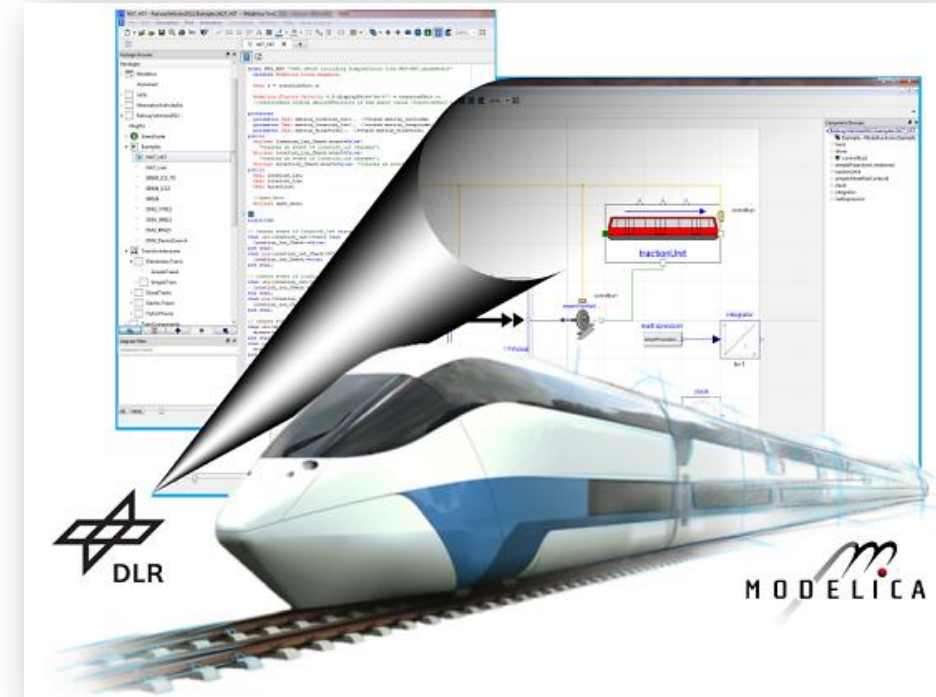
## Ergebnisse: Reichweitenvergrößerung



**Energie-  
einsparungen  
im Bordnetz  
führen zu einer  
Vergrößerung  
der Reichweite  
um bis zu 19%**

# Ergebnisse und Schlussfolgerungen

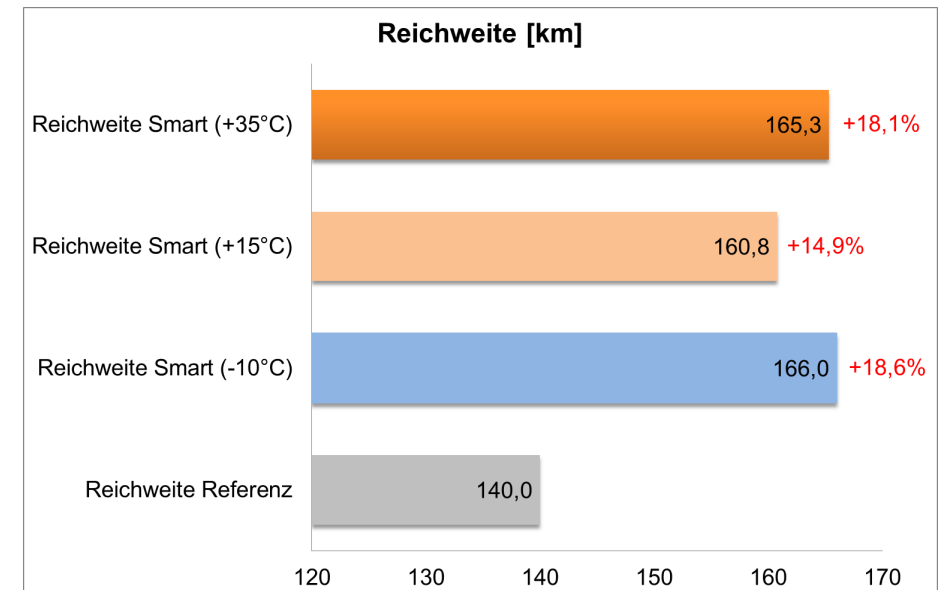
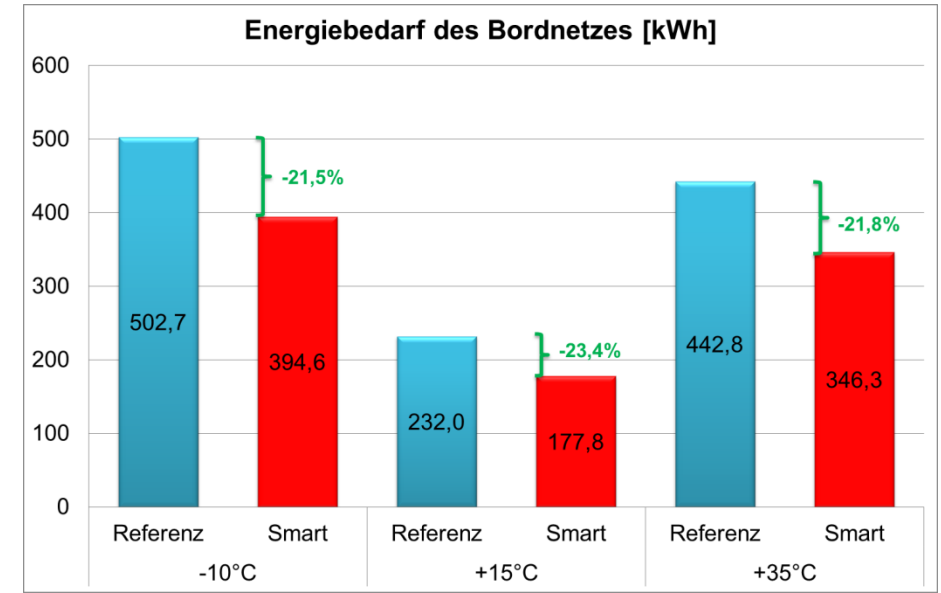
- Sämtliche Berechnungen und Simulationen der Leistungsflüsse wurden mit den am DLR entwickelten Modellen durchgeführt [10 bis 12].
- Grundlage für die Reichweitenbetrachtungen bildet das Leistungsprofil für Traktion, das für alle Szenarien als identisch vorausgesetzt wurde
- Der Gesamtenergiebedarf am ZK beträgt in den Extremszenarien 4,15 kWh/km bzw. 3,81 kWh/km und ist im Vergleich zum Traktionsenergiebedarf von 1,34 kWh/km deutlich größer
- Für das Standardszenario ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 2,61 kWh/km
- Die Leistung der HB hat einen signifikanten Einfluss auf den Energiebedarf und damit auf die Auslegung der Energieversorgungsanlagen



ZK = Zwischenkreis  
HB = Hilfsbetriebe

# Zusammenfassung

- Der Energiebedarf des Bordnetzes von BEMU im Regionalverkehr liegt im Extremfall bei 70% des gesamten Fahrzeugenergiebedarfes
- Einsparung von über 20% der Energie im Bordnetz durch vor allem:
  - Herunterregeln der Klimaanlage in Bahnhöfen
  - Herunterregeln der Kühlung von Traktionskomponenten in Bahnhöfen
  - Bedarfsgerechte Beleuchtungsregelung im Fahrgastraum
- Bei gleichgroßer Batterie steigt die Reichweite des BEMU um bis zu 19%



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Wissen für Morgen



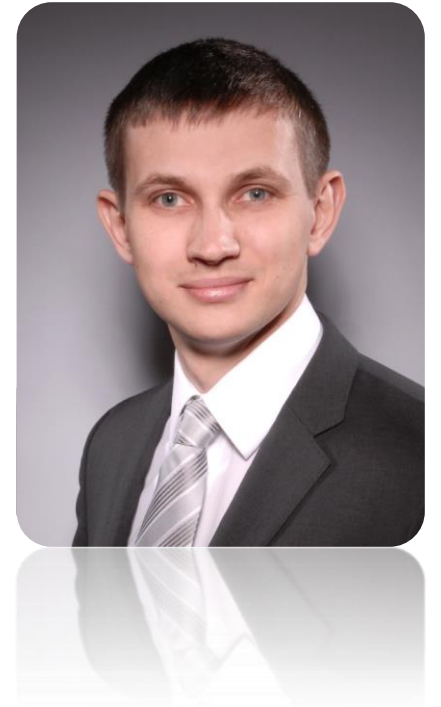


## Kontaktdaten

**Ivan WINDEMUT**  
**Wissenschaftlicher Mitarbeiter**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**  
**Institut für Fahrzeugkonzepte**  
**Rutherfordstrasse 2**  
**12489 Berlin**

**Telefon: +4930 67055 624**  
**ivan.windemut@dlr.de**  
**[www.dlr.de/fk](http://www.dlr.de/fk)**





# Literatur

- [1] Ernst, J.: D3.1 Energy Baseline. Shift2Rail FINE1, Future Improvement for Energy and Noise, Project reference: 730818, 2018.
- [2] Behmann, U.: Weltpremiere. Elektrische Bahnen - Elektrotechnik im Verkehrswesen, Nr. 4-5 2018, S. 116-118.
- [3] Fender, K.: Hydrogen Trains for the UK? Traction & Rolling Stock Special, January 2018, S. 87-89.
- [4] Abellio GmbH, „<http://www.abellio.de>,“ [Online]. Available: <https://www.abellio.de/de/abellio-mitteldeutschland/unternehmen-news/fahrzeugwerkstatt/bombardier-talent-2-emu>. [Zugriff am 02 08 2018].
- [5] Flerlage, H.; Mazzone, A.; von Mach, S.: Neue Fahrzeugfunktionen durch den Batteriebetrieb von Schienenfahrzeugen mit Speichern hoher Leistung und optimiertem Energiemanagement. in Grazer Schienenverkehrstagung 2017.
- [6] Toylsbjerg-Petersen, L.: Trains on Batteries. in RailCph / Banekonferenzen 2017.
- [7] Bombardier Inc.: Datenblatt Primove Battery - Battery 50. 2015.
- [8] E DIN EN 50591 VDE 0115-591:2018-07: Spezifikation und Überprüfung des Energieverbrauchs von Schienenfahrzeugen. VDE Verlag GmbH, Berlin 2018.
- [9] Dittus, H.: D3.4 Requirement Specification for Energy Simulation Tool. Shift2Rail FINE1, Future Improvement for Energy and Noise, Project reference: 730818, 2018.
- [10] Winter, J.; König, J.; Kopp, G.; Dittus, H.: Next Generation Train. The revolution. Railvolution, Nr. 04/2012, S. 28-37.
- [11] Windemut, I.; Kalatz, C.; Vogler, A.: Ein modernes Beleuchtungskonzept für den Doppelstockzug AeroLiner3000. ZEVrail, 141 (6-7/2017), S. 256-261. Georg Siemens Verlag, ISSN 1618-8330.
- [12] Windemut, I.; Winter, J.: Thermische 3D-Simulation des Fahrgastraums vom doppelstöckigen Wagen des Next Generation Train. In: BAHNTECHNIK AKTUELL, 65, S. 91-103. IFV Bahntechnik e.V.. BAHN-KLIMATECHNIK 2017, 12.-13. Juli 2017, Berlin, Deutschland. ISBN 978 3 940727 58 9.

